

Estimación de la integridad ecosistémica de las costas arenosas mexicanas a través de técnicas de aprendizaje de máquina

Octavio Pérez Maqueo
Miguel Equihua Zamora

Proyecto Conahcyt de ciencia de frontera (CF-2023-G-1497)



COSTAS ARENOSAS
INTEGRIDAD ECOSISTÉMICA

Integridad ecosistémica de costas arenosas

Proyecto Conahcyt de ciencia de frontera (CF-2023-G-1497)

Octavio Pérez-Maqueo¹ and Miguel Equihua¹

1. Ambiente y Sustentabilidad / Inecol

Tabla de contenidos

Prefacio	1
1 Resumen	3
2 Introducción	5
3 Taller	7
3.0.1 Construcción colaborativa de Redes Bayesianas	11
References	19

Prefacio

Este es el documento de registro de avances del proyecto

Estimación de la integridad ecosistémica de las costas arenosas mexicanas a través de técnicas de aprendizaje de máquina

1 Resumen

México, como otros países, inició la implementación de un sistema de cuentas de ecosistemas cuyo propósito es calcular y poner regularmente a disposición de la sociedad información sobre la extensión y la condición de los ecosistemas, así como de la capacidad para obtener los diversos beneficios que la naturaleza provee como servicios ecosistémicos. Como parte de un piloto mundial, México desarrolló un sistema de contabilidad para ecosistemas terrestres (INEGI 2021). Ahora, hay el interés en extender el sistema para incluir los ambientes costeros, marinos y acuáticos continentales. Para los ecosistemas terrestres México desarrolló una propuesta que aprovecha datos masivos (Big data) y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial (IA). La experiencia mostró que este planteamiento puede ser de enorme ayuda para llevar a cabo una contabilidad de ecosistemas a gran escala. Las técnicas de IA son atípicas dentro del ámbito de la contabilidad ambiental y por tanto se estima que la estrategia iniciada en nuestro país es innovadora. Además, las nuevas propuestas en el uso de las técnicas de aprendizaje de máquina apuntan a preferir formulaciones causales que si bien son procesadas por máquinas, produzcan resultados entendibles para los usuarios humanos. Esto es lo que está emergiendo como “Inteligencia artificial interpretable” (IAI por las siglas en inglés, Mihaljevic et al 2021). Una aproximación del tipo IAI para el caso de las cuentas de ecosistemas permitiría, con base en datos y un enfoque sistémico, un mayor entendimiento de las relaciones entre las acciones de origen antrópico y su repercusión en los ecosistemas del país y en los servicios que estos proporcionan. En este proyecto, se propone evaluar como prueba de concepto, la condición de las costas arenosas (playas y dunas) de todo el país, por medio del cálculo de un índice de integridad de los ecosistemas de costas arenosas (IIECA) bajo el paradigma de IAI.

2 Introducción

El proyecto **Estimación de la integridad ecosistémica de las costas arenosas mexicanas a través de técnicas de aprendizaje de máquina** se propone generar estimaciones de la condición en la que se encuentran los ecosistemas costeros, especialmente los arenosos, del país con una representación raster y resolución geográfica de píxeles de 3 segundos (aproximadamente 100 m). También se está considerando tener una valoración de mayor resolución para la zona costera de Quintana Roo, en donde se propone lograr una resolución geográfica con píxeles 0.3 segundos.

3 Taller

Taller de arranque del grupo de trabajo para unificar metodologías y determinar las variables a analizar

Lugar: Edificio 17 del Instituto de Ingeniería CEMIE-Oceano, ciudad de México / en línea

Objetivo general:

Presentar la visión integral del proyecto, su origen, fundamentos teórico-metodológico y principios de ciencia abierta, para unificar criterios técnicos entre el grupo central de trabajo e identificar en conjunto las variables potenciales para los ejercicios de modelación.

Objetivos particulares:

1. Presentar el proyecto, sus etapas, los productos comprometidos y tiempos estimados.
2. Presentar las bases teórico-metodológicas del proyecto (redes bayesianas), así como los fundamentos de ciencia abierta (FAIR).
3. Identificar posibles variables a utilizar en el modelaje del proyecto, así como las fuentes de datos e información relevante en dos escalas (para el nivel nacional y un caso de estudio potencial a detalle en la Península de Yucatán).

Descripción de las actividades

Los talleres realizados el 29 y 31 de mayo contaron con la participación de 14 personas que conforman el grupo núcleo de trabajo del proyecto (ocho mujeres y seis hombres, tres participando en línea), provenientes del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Instituto de Ecología A. C. y la UAM – Xochimilco. Las listas de participantes se encuentran en este Archivo.

El taller se realizó con un enfoque participativo, para lo cual, se preparó un pizarrón digital en la plataforma virtual **Miro** y las presentaciones fueron depositadas en el sitio Web de trabajo para el proyecto. El instrumento de planeación del taller (carta descriptiva) con la propuesta de actividades detalladas se encuentra en el anexo 2.

A continuación, se presentan la descripción del desarrollo de las actividades durante los tres días de trabajo.

Día 1.

3 Taller

1. Bienvenida y presentación

Al inicio del taller, el Dr. Octavio Pérez Maqueo dio una breve bienvenida al taller e informó que cada día se iba a pasar una lista de asistencia; además, se le pidió a cada persona señalar si brindaban su consentimiento libre e informado para el uso de imagen e información considerando la siguiente leyenda: *“Al marcar esta celda, usted da el consentimiento para que el proyecto ‘Estimación de la integridad ecosistémica de las costas arenosas mexicanas a través de técnicas de aprendizaje de máquina (CF-2023-G-1497)’ haga uso de materiales (fotos/videos) con su imagen, así como de la información derivada de los días de taller. Ninguna información privada o sensible será utilizada ni compartida fuera del marco del proyecto. Muchas gracias.”* (Ver listas en el anexo 1)

Posteriormente a la información de la lista y consentimiento, se invitó a cada participante a presentarse brevemente con su nombre e institución.

2. Presentación del contexto y origen del proyecto

El Dr. Pérez Maqueo desarrolló una presentación en torno a la pregunta ¿por qué creemos que es necesario un proyecto como este? Para ello, la exposición contó con los siguientes componentes:

Visión integral

- Caso particular de las costas
- Desarrollo de habilidades

¿Cómo sugerimos hacerlo?

- Co-construcción
- Ciencia Abierta y principios FAIR
- Análisis con base en propuesta del SEEA EA
- Flujos de trabajo (pipelines)

En esta primera presentación se destacaron algunos argumentos de la necesidad que dio origen al proyecto:

- Fortalecer iniciativas nacionales e internacionales que vemos como una alternativa viable hacia la sustentabilidad.
- Desarrollar metodologías que nos permitan a nosotros u otras personas rehacer mañana el análisis que hicimos hoy.

- Aprender sobre nuevas formas de análisis dada la capacidad de datos y cómputo actuales.
- Analizar a los socioecosistemas de manera integral incorporando las dependencias espaciales que caracteriza a estos sistemas.
- Implementar los resultados del proyecto en la toma de decisiones.

Las presentaciones están disponibles en el blog donde se subirán los materiales del proyecto: <https://sw-costas-arenosas.netlify.app/presentaciones>

3. Descripción del proyecto y marco teórico

En la segunda parte de la mañana del día 1, se expusieron las generalidades del proyecto, el marco conceptual, los compromisos establecidos para las tres etapas del proyecto, presupuesto, avances y tiempos estimados.

El objetivo principal del proyecto es “integrar indicadores bióticos y abióticos en un índice de integridad ecosistémica, a través de un modelo causal bajo una aproximación de Inteligencia Artificial Interpretable (IAI)”:

- Nacional
- Incorporar la complejidad asociada a ecosistemas costeros
- Aprendizaje Automático Interpretable (redes bayesianas)

El resultado principal es proponer una metodología para analizar la integridad ecosistémica de las costas arenosas de México, con el fin de incorporarla a las cuentas nacionales de ecosistemas y promover su uso en distintos instrumentos de política pública.

La entrega de la primera etapa del proyecto es el día 27 de junio de 2024, por lo que dentro de los acuerdos se establecieron las tareas y responsables para cumplir plenamente con los compromisos (ver tabla de acuerdos, anexo 3).

Posteriormente, el Dr. Miguel Equihua brindó un panorama de los fundamentos teóricos en los que se sustenta el proyecto, principalmente explicando el proceso de análisis de interdependencias condicionadas a partir de las redes bayesianas (directed acyclic graph-DAG sensu (Pearl & Mackenzie, 2018)) (ver blog:

En la presentación se destacó la importancia de hacer la ciencia reproducible, lo que es un DAG, su anatomía, la terminología básica (nodo, arista, variable explicativa, respuesta, ancestros, descendientes), las reglas de independencia condicional y la separación condicional. Después del planteamiento teórico, se explicó cómo se busca construir el DAG de integridad costera. Finalmente se presentó el fundamento de la ciencia abierta y los principios FAIR.

3 Taller

De esta manera, las/os participantes reconocieron las bases del proyecto y su propuesta de desarrollo. Al terminar la exposición hubo un breve espacio para algunas dudas o inquietudes, incluyendo a las personas que atendieron en línea.

4. Presentación de la estrategia metodológica

La siguiente presentación buscó que el grupo cuente con la información base de la estrategia metodológica del taller, la cual sirvió también para realizar el ejercicio planeado para el día 2 de trabajo, en el cual se identificaron las variables y fuentes de información. La presentación contó con los siguientes elementos:

- De lo conceptual a lo analítico (de Miro a Nética)
- Enfoque causal y probabilístico
- Documentación y gestión de datos

A lo largo del día se plantearon diversas inquietudes, por ejemplo:

- Definir las fronteras del área de estudio.
- Definir si el grupo estaba en posibilidades de un estudio de caso a profundidad en la Península de Yucatán.
- Considerar si se considerará información de la cuenca a nivel superficial y/o a los acuíferos.
- Definir la temporalidad, qué años y si se toman las dos temporadas para las costas.
- Necesidad de llegar a las resoluciones espaciales para la información a nivel nacional y para un estudio de caso.

Además, se enlistó la información que podría ser relevante y algunas fuentes de datos que debían retomarse:

- Las imágenes que se usaron para el inventario de humedales, que tiene imágenes desde el 75 u 83 y del 2005-2006. Consultar a CONABIO.
- Las imágenes de los vuelos que tiene INEGI y/o SEMARNAT.
- Biblioteca de imágenes de ICA, donde incluso se cuenta con vuelos de los años sesenta (aerofotos).
- Acervo de la compañía mexicana de aerofoto, que se había depositado en el Instituto de Geografía-UNAM, sin embargo, como no estaban cuidados los rollos, ICA se los llevo. Los tiene la Fundación ICA.

- Las fotografías aéreas más antiguas que tomaron los EE. UU., las cuales están escaneadas. El equipo de Rodolfo Silva tiene acceso a esta información. Una parte ya está digitalizada, pero no toda está organizada, hay mucho trabajo pendiente.
- Información de la CFE.
- Las cartas geológico-mineras de todo el país. Los tiene el servicio geológico mexicano

El equipo facilitador tomó notas cada día de trabajo de estos puntos para llegar a definiciones en una tabla de acuerdos al final del taller (ver anexo 3).

Al final del día 1, se dio un espacio en plenaria de cierre de la jornada de trabajo y se propusieron los mecanismos de interacción para el día 2.

Día 2

5. Presentación del tema gestión de datos y presentación de variables

Al inicio del día 2, se continuó con el tema de gestión de datos y se presentaron las temáticas de variables existentes y nuevas variables, así como las sugerencias para documentar y gestionar datos en el marco del proyecto.

Posteriormente se brindó un ejemplo de variables y sus interacciones. De esta manera, el grupo conoció la metodología específica para definir variables e interacciones.

6. Ejercicio participativo de identificación de variables

3.0.1 Construcción colaborativa de Redes Bayesianas

a) Mecánica del ejercicio:

Una vez que se introdujo al grupo de trabajo a la metodología de identificación de variables, se realizó un ejercicio donde el grupo participó a través de notas digitales tipo post-it en un pizarrón digital en la plataforma Miro (ver Fig. 1). Para esto, el equipo facilitador había preparado previamente el pizarrón de trabajo, se propusieron variables que ya se habían identificado, además de presentar el ejemplo de un caso que se desarrolló en un proyecto previo.

3 Taller

Se explico a propuesta de usar *Miro* como plataforma de debate y construcción de consenso. Buscamos así aproximarnos a la estructura causal que vincula las variables que determinan el rendimiento y la sustentabilidad (social, económica y ambiental). También se explico que se transferirá lo acordado en *Miro* a la plataformas de análisis estadístico **R**. Al hacer esto las posibilidades analíticas se potencian muy ampliamente y se podrá recurrir a *dagitty* o incluso utilizar *Python* y *Netica* para el análisis, entrenamiento y proyección del modelo resultante qe es uno de los objetivos centrales del proyecto. El ciclo de trabajo en esta etapa se ilustra en la siguiente figura.



4. Definir los parámetros técnicos para el intercambio de información entre el equipo de trabajo (resolución, formato, metadatos, etc.).

Resultados generados:

1. Mural digital con la lista de variables potenciales identificada por el grupo de trabajo, la cual incluye fuente de datos, la escala de información y la persona que propuso la variable y que podría gestionar el acceso a la información.
2. Lista de fuentes de información adicionales que puedan servir como insumo para el modelaje.
3. Tabla de acuerdos con tareas y responsables para la siguiente fase del proyecto.

A continuación se muestra el avance de lo anotado en **Miro** y el resultado de transferirlo a **R**. En primer lugar se ilustran los atributos generales de lo que se ha definido en **Miro** y que ya ha sido transferido e interpretado en **R** como un DAG.

```
if (!require(miro2bayes))
{
  library(devtools)
  install_github("equihum/miro2bayesNet", force = TRUE)
}

library(miro2bayes)
library(bnlearn)
library(bnviewer)
library(tidyverse, quietly = TRUE, warn.conflicts = FALSE)
library(flextable)

tableros <- miroBoards(servMiro = "miro", user = "miguel-edu-token")
tableros[, c("name", "id")]
```

	name	id
1	Costa arenosa	uXjVKB6PRSY=
2	Education Plan Basics	uXjVPZCsPDE=
3	Education Plan Apps & Integrations	uXjVPZCsPUo=
4	Education Plan Administration	uXjVPZCsPVc=
5	Education Plan Useful Resources	uXjVPZCsPVQ=

```
tablero_tr <- tableros %>%
  filter(str_detect(name, "Costa")) %>%
  select(id, name)

datos_miro <- getMiro(servMiro = "miro", user = "miguel-edu-token",
  board = tablero_tr)
```

3 Taller

```
miroValidation(datos_miro)
```

```
Miro board origin:      Costa arenosa
Is it a TRUE DAG?:      Graph is acyclic
Number of sticky notes: 46
Nodes without var:      4
Number of linked nodes: 15
Duplicated nodes:       0
Number of arcs:         13
Well connected arcs:    13
Numb. Loose arcs:       0
Duplicated arcs:        0
```

```
#neticaMiro <- miro2DNE(datos_miro)

#write(neticaMiro, "costa-arenosa.dne")

netMiro_bn <- miro2bnlearn(datos_miro)
netMiro_bn
```

Random/Generated Bayesian network

```
model:
  [redondez] [vel_viento] [dir_viento] [pot_ola] [dir_ola] [d50] [lluvia_anual]
  [secas] [mareas] [dir_costa] [radiacion] [flujo_subterraneo] [corrientes_m]
  [erosibilidad|redondez:vel_viento:dir_viento:pot_ola:dir_ola:d50:lluvia_anual:secas:m
  [aguas_disp|flujo_subterraneo]
nodes:                                     15
arcs:                                     13
  undirected arcs:                        0
  directed arcs:                          13
average markov blanket size:              10.53
average neighbourhood size:               1.73
average branching factor:                 0.87

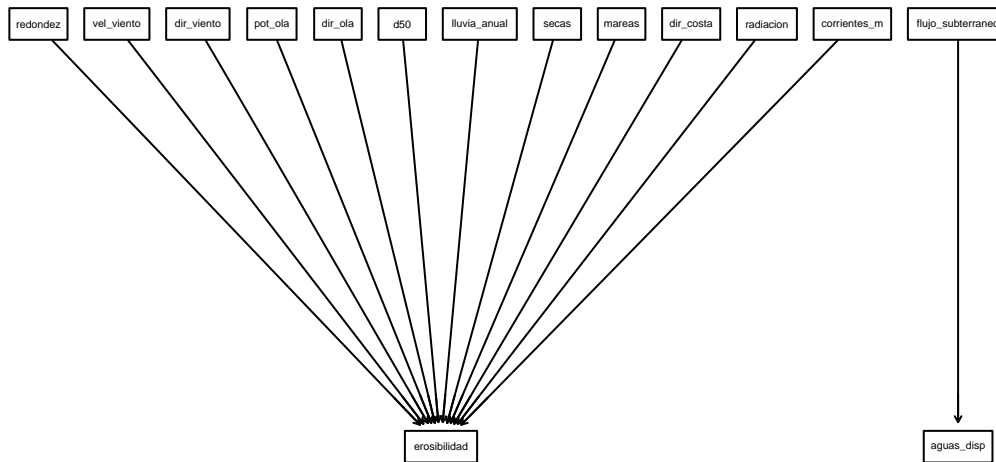
generation algorithm:                     Empty
```

```
variables <- tibble(var = datos_miro$nodes$var)
```

Se muestra una ilustración del avance del DAG en la figura siguiente, producida ya en **R**.

```
#|label: dag
graphviz.plot(netMiro_bn, layout = "dot")
```

Loading required namespace: Rgraphviz



Finalmente, se muestra la lista de variables identificadas hasta ahora en las notas reunidas en **Miro** y transferidas a **R**.

text	var	color
potencia de la ola (datos horarios 1940-2022) https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A + data + documentation	pot_ola	blue
mareas Mareografos de Pafífico y Atlántico (SEMAR) RODOLFO	mareas	blue

3 Taller

text	var	color
forma de crecimiento de vegetación de dunas:Tomar de base de datos de Ileana/conabio. Zonas con arbustivas tienden mayor erosión. en zonas como dice marisa eso no pasa	habito	dark_green
disponinibilidad de arena -ancho playa	ancho_playa	dark_green
geología(geomorfología,tipo de roca)Pedir carta geológica minera servicio geologico mexicano. Octavio y Karla en formato shape "Geológica minera" https://www.sgm.gob.mx/Cartas Disponibles/ (en pdf hasta 1:50000) https://www.sgm.gob.mx/Geo Info Mex Gob Mx/#(shape)	geologia	blue
Arrecifes de coral-Buscar la mejor capa: blaqueamiento, Copernicus o Conabio https://simar.conabio.gob.mx/explorer/?undefined	coral	dark_green
pastos marinos https://simar.conabio.gob.mx/explorer/?undefined	pastos	dark_green
Disponibilidad de agua salobre o dulce	aguas_disp	blue
Flujo subterráneo. Información disponible en SHP (polígonos). Solicitar a Rodolfo / Valeria. Tiene una clasificación. Nivel nacional. Artículo: https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2459	flujo_- subterraneo	blue
Sol. WB_Global solar atlas. https://globalsolaratlas.info/map?c=&#61;19.248922,-97.171326,9&s=&#61;19.519781,-96.911168&m=&#61;site	radiacion	blue
Evapotranspiración En terminos de germinación y cobertura	evapotranspiracion	dark_green
NOTAS GENERALESJuntaremos playa y duna como un solo ecosistema. Sugerencia de Rodolfo	notas_1	gray
Plataforma continental. GEBCO. Gridded Bathymetry data download. https://download.gebco.net	plataforma_- cont	blue
Infraestructura	infraestruct	orange
Manglares SIMARPaty Moreno	mangle	dark_green
Estructuras marinas	estruct_marina	orange
Influencia antrópica	influ_antro	orange
ALTERACIONES ANTROPICAS DE LA Calidad del agua	alt_antro	orange
Pendiente de la playa Información puntual Mónica y otros	pendiente	dark_green
Diámetro mediano D50(base de datos GICP-IIUNAM)	d50	blue

text	var	color
Redondez sedimento. (base de datos GICP-IIUNAM)	redondez	blue
Dirección de la línea de costa con relación al oleaje y al viento Usar línea de costa propuesta por Rodolfo	dir_costa	blue
Efecto del sargazo	EfectoDelSargaso	iolet
Corrientes Marinas Atlas de corrientes IMTA de Efraín Mateos (Base de datos del CEMIE)VALERIA	corrientes_m	blue
Especies invasoras Usar datos procesados por Julián	invasoras	dark_green
<p>Perfil de suelo Perfiles edafológicos se pueden encontrar en: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc&#61;702825266707 Suelos sueltos y poco compactados son más susceptibles a la erosión eólica, lo que facilita la formación de dunas. Por otro lado, suelos más compactos pueden resistir mejor la acción del viento. La presencia de diferentes horizontes en el perfil edafológico puede afectar la disponibilidad de sedimentos para la formación de dunas. Un horizonte superficial arenoso es ideal para la movilización de partículas.</p>	perfil_suelo	dark_green
<p>Macroalgas https://fjps.springeropen.com/articles/10.1186/s43094-020-00147-6</p>	macroalgas	dark_green
<p>Estacionalidad fuente: copernicus. posprocesar para ver también temporada de secas - VALERIA - Marisa proporciona el criterio</p>	secas	blue
Condición	condicion	green
Precipitación- fuente: copernicus. posprocesar para ver también temporada de secas VALERIA	lluvia_anual	blue
Gasto Escurrimiento en cuenca Aporte de sedimento terrígeno	gasto	blue
<p>dirección de la ola (datos horarios 1940-2022) https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation</p>	dir_ola	blue
<p>velocidad del viento (datos horarios 1940-2022) https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation Suelos sueltos Encontrar umbrales de viento y ver si favorecen la construcción o la destrucción de duna. ¿Velocidad de inicio de arrastre? WB_Atlas eólico mundial: https://globalwindatlas.info/es/PENDIENTE+DEFINIR+UMBRALES</p>	vel_viento	blue
<p>dirección del viento (datos horarios 1940-2022) https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation</p>	dir_viento	blue

3 Taller

text	var	color
Detección	inf_2	dark_green
Contexto	inf_1	blue
Otro	inf_4	violet
Intervención hunama	inf_3	orange
Humedad En terminos de germinación y cobertura	humedad	dark_green
Checar pagina de idea del instituto de geografía https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga Gaby Gómez	notas_2	gray
Tasa de desplazamiento(Erosión- / acresión +)	-	dark_green
erosibilidad	erosibilidad	green
Resolución raster100 m por lado (equivale a 3 segundos) En versión "caso de estudio" serán pixeles de 10m por lado (equivale a 0.3 segundos).	resolucion	cyan
Ale:Presencia de especies indicadoras sensibles a cambios en la costa:	-	dark_green
Aves marinas: chorlos Audubon society y Conell	-	dark_green
Sitios de anidación de tortugas marinas	-	dark_green

References

Pearl, J., & Mackenzie, D. (2018). *The book of why: the new science of cause and effect*. Basic books.

